

УДК 669.15'26:621.785.616

**А. С. Созыкина\*, К. Ю. Окишев**

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

\*sozykinaas@susu.ru

## РАСЧЕТ ТВЕРДОСТИ ЗАКАЛЕННЫХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ

Представлена модель расчета твердости по Роквеллу высокохромистых сталей и износостойких чугунов тройной системы Fe–Cr–C после закалки, основанная на термодинамических и кинетических расчетах и расчетной оценке микротвердости отдельных структурных составляющих сплава.

*Ключевые слова:* карбиды, мартенсит, остаточный аустенит, закалка, моделирование.

**A. S. Sozykina, K. Yu. Okishev**

## HARDNESS CALCULATION FOR QUENCHED HIGH-CHROMIUM IRON-CARBON ALLOYS

A model is presented able to calculate the Rockwell hardness of high-chromium steels and wear-resistant cast irons belonging to the ternary system Fe–Cr–C after quench hardening. The model is based on thermodynamic and kinetic calculations and numerical estimation of microhardness of individual structural components of the alloy.

*Keywords:* carbides, martensite, retained austenite, quench hardening, model.

Одной из важнейших характеристик высокохромистых инструментальных сталей (типа X12) и износостойких чугунов является твердость (HRC). В данной работе была поставлена цель разработать методику определения твердости таких сплавов расчетным путем.

Для расчета твердости сплава необходимо знать его фазовый состав и микротвердость отдельных структурных составляющих. Основными фазами в высокохромистых сплавах Fe–Cr–C после закалки являются

мартенсит, остаточный аустенит и карбид хрома  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ , в котором часть атомов хрома замещена железом  $[(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3 = \text{M}_7\text{C}_3]$ . Количество фаз и их химический состав рассчитывали по методике [1; 2].

Твердость мартенсита определяли путем аппроксимации хорошо известной зависимости [3]. Данных о микротвердости остаточного аустенита немного, поэтому при анализе в основном были использованы данные по прочности аустенитных сталей с различным содержанием углерода, которую затем пересчитывали в твердость по известному соотношению  $\sigma_{\text{в}} = 0,45 \cdot \text{HB}$  [4]. Микротвердость карбида  $\text{M}_7\text{C}_3$  зависит от содержания в нем железа, и, как было показано в [5], различается в зависимости от кристаллографического направления. Среднее значение составляет  $H_{\text{M}_7\text{C}_3} = 18 - 8 \cdot y_{\text{Cr}}$ , ГПа, где  $y_{\text{Cr}}$  — атомная доля хрома в металлической подрешетке карбида.

Интегральная твердость сплава считалась аддитивной и находилась путем сложения микротвердостей отдельных фаз, умноженных на их доли в структуре, после чего переводилась из микротвердости в твердость по Роквеллу [1].

Разработанная методика позволяет не только рассчитать твердость сплава заданного состава после закалки в зависимости от температуры и длительности нагрева, но и строить карты твердости и количества остаточного аустенита после закалки от определенной температуры. Их использование позволяет наглядно выбирать области составов, обеспечивающих требуемую структуру и твердость сплавов.

## Литература

1. Окишев К. Ю., Созыкина А. С. Изменение структуры и твердости высокохромистых сталей и чугунов с температурой нагрева под закалку // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». 2011. Вып. 16, № 14. С. 67–70.
2. Kinetic Description of  $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$  carbide dissolution in austenite of high-carbon  $\text{Fe}-\text{Cr}-\text{C}$  ternary alloys / A. S. Sozykina [et al.] // Materials Science Forum. 2016. V. 870. P. 409–415. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.409 (дата обращения: 18.01.2020).
3. Гуляев А. П. Термическая обработка стали. М. : Машгиз, 1960. 496 с.
4. Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. М. : МИСиС, 1998. 398 с.
5. Ковальченко М. С., Роговой Ю. И. Анизотропия микротвердости поликристаллических карбидов переходных металлов VI группы // Порошковая металлургия. 1971. № 2. С. 93–99.